

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. März 2004 (04.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/019425 A2(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 41/083[DE/DE]; Friedrich-Schaffert-Str. 8, 70839 Gerlingen  
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/001810

(74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH;  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).(22) Internationales Anmeldedatum:  
3. Juni 2003 (03.06.2003)(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, KR, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 37 589.5 16. August 2002 (16.08.2002) DE

Veröffentlicht:

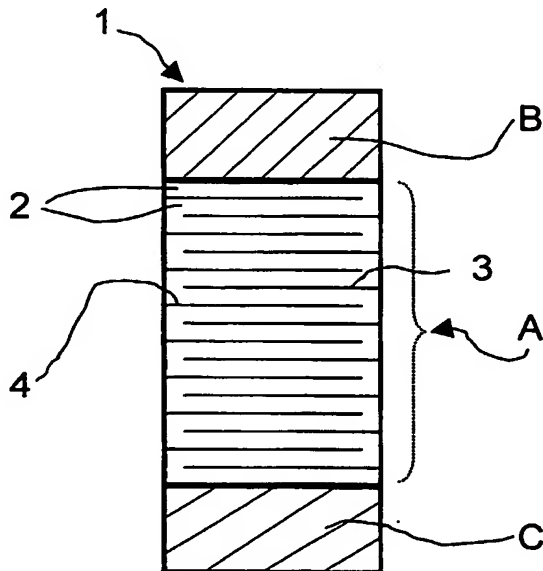
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SUGG, Bertram

(54) Title: PIEZO ACTUATOR

(54) Bezeichnung: PIEZOAKTOR



(57) **Abstract:** The invention relates to a piezo actuator, for example, for actuating a mechanical part, according to which the piezo actuator is provided with a multilayer structure consisting of piezo layers (2) and can be subjected to the action of electric voltage in a piezoelectrically active area (A) via inner electrodes (3, 4) arranged between the layers. At least one inactive area (B, C) is provided in the layer structure of the piezo actuator (1). This area (B, C) is made without inner electrodes and from a material whose mechanic and thermal properties correspond to the properties of the active area (A) including the combination of the interaction of the material of the piezo layers (2) and of the inner electrodes (3, 4).

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem der Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) versehen ist und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) über zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3, 4) mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar ist. Es ist mindestens ein inaktiver Bereich (B, C) im Lageraufbau des Piezoaktors (1) vorhanden, wobei dieser Bereich (B, C) ohne

Innenelektroden aus einem Material gebildet ist, dessen mechanische und thermische Eigenschaften den Eigenschaften des aktiven Bereichs (A) einschliesslich der Kombination und der Wechselwirkung des Materials der Piezolagen (2) und der Innenelektroden (3, 4) entsprechen.

## Piezoaktor

### Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung an diese piezoelektrischen und elektrostriktiven Keramiken erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt.

Aufgrund des extrem schnellen und genau regelbaren Hubeffektes können solche Piezoaktoren zum Bau von Stellern, beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Hierbei wird die spannungs- oder ladungsgesteuerte Auslenkung des Piezoaktors zur Positionierung eines

-2-

Steuerventils genutzt, das wiederum den Hub einer Düsen-  
nadel regelt.

Da die erforderlichen elektrischen Feldstärken zur Betätigung des Piezoaktors im Bereich von mehreren kV/mm liegen und in der Regel moderate elektrische Spannungen zur Ansteuerung gewünscht sind, erfolgt der Aufbau dieses Piezoaktors hier in mehreren Schichten von übereinandergestapelten metallisierten Piezokeramiken zu einem sog. Multilayer-Aktor. Hierzu sind jeweils zwischen den Schichten Innenelektroden vorhanden, die z.B. mit einem Druckverfahren aufgebracht werden, und es sind Außenelektroden vorhanden, über die die elektrische Spannung angelegt wird. Ein typisches Verfahren zum Herstellen solcher Schichten besteht in der Foliengießtechnik. Die einzelnen Schichten werden dabei zur Herstellung der Innenelektroden metallisiert und übereinandergestapelt, wobei dann zwischen zwei Schichten mit Innenelektroden unterschiedlicher Polarität sich der Piezoeffekt auswirkt.

Am Kopf- und Fußbereich fehlen jedoch in der Regel die Innenelektroden, da zum einen zu den Stirnflächen hin eine gewisse Isolationstrecke nötig ist um Kurzschlüsse nach außen hin zu vermeiden und zum anderen werden passive Zonen zum elektrischen Anschluss der Außenelektroden genutzt. Auch können passive Bereiche inmitten des Aktors vorhanden sein. Oft besteht jedoch in der Zone zwischen dem Bereich mit Innenelektroden als aktive Zone und dem Bereich ohne Innenelektroden als passive Zone die Gefahr von Rissen. Dieses Phänomen hat eine verminderte Lebensdauer zur Folge und kann zum Totalausfall des Aktors führen.

Für sich gesehen ist aus der DE 100 25 998 A1 bekannt, dass an beiden Enden des Lagen- oder Schichtaufbaus passive, in der Länge veränderbare passive Bereiche angeordnet sind. Eine für die jeweilige Einbausituation fest de-

-3-

finierte Gesamtlänge des Piezoaktors wird hier über eine Reduktion der Länge des piezoelektrisch inaktiven Kopf- und/oder Fußstücks realisiert, beispielsweise mit einer Hartbearbeitung durch Schleifen oder ähnliches.

Bei diesem bekannten Piezoaktor können zum einen die passiven Schichten aus dem gleichen Keramikmaterial bestehen wie der aktive Bereich, allerdings mit elektrisch einseitig oder gar nicht kontaktierten Außenelektroden, so dass auch die inaktiven Bereiche mit den Innenelektroden-Metallschichten durchsetzt sind. Andererseits kann der jeweilige inaktive Bereich auch ein vollständiger elektrisch isolierter Metall- oder Keramikblock sein, der beispielsweise auf den piezoelektrisch aktiven Bereich einfach aufgeklebt werden kann.

#### Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor ist, wie erwähnt, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich mit zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden aufgebaut und ist mit einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden, zur Beaufschlagung mit einer elektrischen Spannung, versehen. Es ist weiterhin mindestens ein inaktiver Bereich, z.B. ein Fuß- und/oder Kopfteil, an einem Ende oder auch innerhalb des aktiven Bereichs im Bereich der Gesamteinbaulänge im Lagenaufbau des Piezoaktors vorhanden.

In vorteilhafter Weise ist der erfindungsgemäße Piezoaktor im mindestens einen inaktiven Bereich ohne Innenelektroden aus einem Material gebildet, dessen mechanische und thermische Eigenschaften den Eigenschaften des aktiven Bereichs einschließlich der Kombination und der

-4-

Wechselwirkung des Materials der Piezolagen mit den Innenelektroden entsprechen. Als entsprechende mechanische und thermische Eigenschaften der Schichten des inaktiven Bereichs und des aktiven Bereichs kommen insbesondere die Wärmedehnung, die Elastizität und die Schwindung beim Sintern des Mehrschichtaufbaus des Piezoaktors in Frage.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform können bei dem erfindungsgemäßen Piezoaktor die inaktiven Bereiche und der aktive Bereich aus einer gleichen keramischen Grundsubstanz hergestellt sein, wobei in den inaktiven Bereichen zusätzliche Dotierstoffe eingefügt sind. Hierbei kann vorzugsweise die Grundsubstanz Bleizirkonattitanat (PZT) und der Dotierstoff Silber sein. Silber ist hier insofern vorteilhaft, da im aktiven Bereich häufig Silber eingebaut wird und daher die Innenelektroden vorzugsweise aus AgPd aufgebaut sind, so dass bei einer Zudotierung von Silber im passiven Bereich ähnliche Eigenschaften erhalten werden.

Mit der Erfindung kann in vorteilhafter Weise insbesondere die Rissneigung bei piezoelektrischen Stapelaktoren im Übergang von aktiven zu inaktiven Bereichen minimiert werden. Dies erfolgt zunächst primär beim Herstellungsprozess, was unmittelbar die Fehlerrate minimiert. Eine Ursache dieser Rissbildung ist hierbei vor allem, dass beim Sintern des Piezoaktors die Keramik im Bereich mit den Innenelektroden in einem anderem Maße als im Bereich ohne Innenelektroden schwindet. Dies ist damit verbunden, dass chemische Elemente der Innenelektrode in die Keramik diffundieren, sie dotieren und damit die Schwindungseigenschaften ändern. Der Schwindungsmissmatch führt dann zu den schädlichen mechanischen Spannungen.

Des weiteren fördert die erfindungsgemäße Anordnung aber auch die Zuverlässigkeit während des Betrieb des Piezoaktors. Beim Betrieb des Aktors dehnt er sich im aktiven

Bereich aufgrund des Longitudinaleffekts ( $d_{33}$ -Effekt) in Längsrichtung. Gleichzeitig tritt jedoch eine Querkontraktion auf ( $d_{31}$ -Effekt). Da im passiven Bereich die Keramik starr bleibt, führt dieser Dehnungsunterschied ebenfalls zu mechanischen Spannungen.

Weiterhin unterscheidet sich der Wärmedehnungskoeffizient zwischen dem aktivem und dem passivem Bereich wegen des Einflusses des Metalls der Innenelektroden im aktiven Bereich, so dass bei Temperaturwechseln ebenfalls mechanische Spannungen auftreten. Somit liegt der Vorteil der Erfindung vor allem darin, dass im Bereich zwischen dem aktivem und inaktivem Bereich die mechanischen Spannungen minimiert werden und alle zuvor erwähnten Ursachen dabei berücksichtigt werden um die Rissbildung zu vermeiden.

### Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Piezoaktors wird anhand der einzigen Figur der Zeichnung erläutert, die einen Schnitt durch einen Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und aktiven und inaktiven Bereichen zeigt.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In der Figur ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen 2 eines Keramikmaterials, z.B. sogenannte Grünfolien, mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Gleichspannung an Innenelektroden 3 und 4 über hier nicht näher dargestellte außen kontaktierte Elektroden eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

Der Piezoaktor 1 ist in einen piezoelektrisch aktiven Bereich A und zwei am Kopf- und am Fußende angebrachte inaktive bzw. passive Bereiche B und C aufgeteilt. Aktiv wird in diesem Zusammenhang ein Bereich bezeichnet, der von den Innelektroden 3 und 4 wechselnder Polarität durchsetzt ist und letztendlich also zu der für den Betrieb gewollten Längsgesamtdehnung des Piezoaktors 1 beiträgt.

Bei dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel wird der Multilayer-Piezoaktor 1 in der Art aufgebaut, dass die Materialzusammensetzung der Keramikschichten im aktiven Bereich A und in den passiven Bereichen B und C sich unterscheiden. Der Unterschied ist so gestaltet, dass dann unter Berücksichtigung der Kombination und der Wechselwirkung des Materials der Piezolagen und der Innenelektroden im Bereich A die mechanischen und thermischen Eigenschaften der Schichten des inaktiven Bereichs B, C und des aktiven Bereichs A, insbesondere die Wärmedehnung, die Elastizität und die Schwindung beim Sintern des Mehrschichtaufbaus des Piezoaktors kompatibel sind.

Es sind somit an sich für die Grünfolienherstellungen zwei Keramiksorten notwendig. Dies können zum Beispiel verschieden aufbereitete Keramiksorten sein, z.B. auf einer Basis von Bleizirkonattitanat (PZT). Diese oder andere Keramiken auf einer gemeinsam basierenden Grundsubstanz können durch Hinzufügen geeigneter Dotierstoffe, z. B. Silber, entsprechend verändert und angepasst werden.

Die Keramik des jeweiligen passiven Bereichs B,C wird dabei derart maßgeschneidert, dass die Eigenschaften hinsichtlich einer Schwindung beim Sintern, der Wärmedehnung und der Elastizität in idealer Weise zu der Keramik des aktiven Bereichs A, in Kombination mit den Innenelektroden bzw. der Wechselwirkung daraus, kompatibel ist.

-7-

Somit können aus diesen beiden Keramiken zwei Grünfolientypen hergestellt werden, wobei beim Stapeln zum sog. Grünkörper des Piezoaktors 1 dann für den Fuß- und Kopfbereich B und C und eventuellen, hier nicht dargestellten Zwischenbereichen, Folien des Typs für den Bereich B und C verwendet werden. Für den oder die aktiven Bereiche werden Grünfolien für den aktiven Bereich A verwendet, wobei diese Grün- oder Keramikfolien dann nur noch zur Herstellung der Innenelektroden metallisiert werden müssen.

Patentansprüche

## 1) Piezoaktor, mit

- einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3,4), die mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind und mit
- mindestens einem inaktiven Bereich (B,C) ohne Innenelektroden im Lagenaufbau des Piezoaktors (1), dadurch gekennzeichnet, dass
- der mindestens eine inaktive Bereich (B,C) ohne Innenelektroden aus einem Material gebildet ist, dessen mechanische und thermische Eigenschaften den Eigenschaften des aktiven Bereichs (A) einschließlich der Kombination und der Wechselwirkung des Materials der Piezolagen (2) und der Innenelektroden (3,4) entsprechen.

## 2) Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

-9-

- die inaktiven (B,C) Bereiche und der aktive Bereich (A) aus einer gleichen keramischen Grundsubstanz hergestellt sind, wobei in den aktiven Bereichen (B,C) zusätzliche Dotierstoffe eingefügt sind.

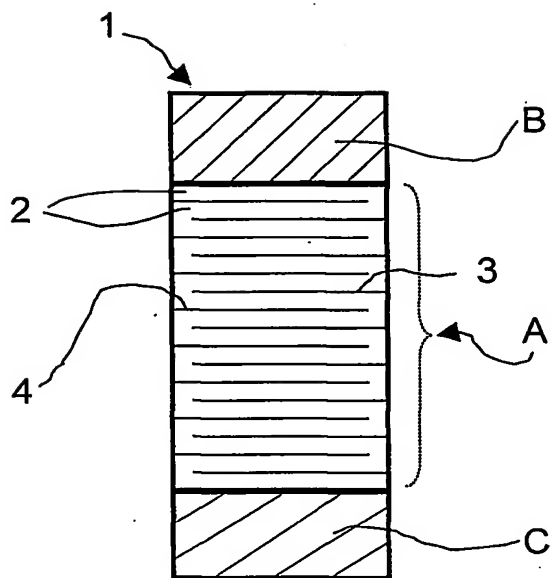
3) Piezoaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Grundsubstanz Bleizirkonattitanat (PZT) und der Dotierstoff Silber ist.

4) Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- als entsprechende mechanische und thermische Eigenschaften der Piezolagen (2) des inaktiven Bereichs (B,C) und des aktiven Bereichs (A) die Wärmedehnung, die Elastizität und die Schwindung beim Sintern des Mehrschichtaufbaus des Piezoaktors (1) heranziehbar sind.

1/1



Figur